

# 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

September, 19-23, 2005

**Maschinenbau  
von Makro bis Nano /  
Mechanical Engineering  
from Macro to Nano**

**Proceedings**

Fakultät für Maschinenbau /  
Faculty of Mechanical Engineering

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

## Impressum

Herausgeber:	Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff
Redaktion:	Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten Andrea Schneider  Fakultät für Maschinenbau Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Kurtz, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß, Dr.-Ing. Beate Schlütter, Dipl.-Biol. Danja Voges, Dipl.-Ing. Jörg Mämpel, Dipl.-Ing. Susanne Töpfer, Dipl.-Ing. Silke Stauche
Redaktionsschluss: (CD-Rom-Ausgabe)	31. August 2005
Technische Realisierung: (CD-Rom-Ausgabe)	Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau Dipl.-Ing. Christian Weigel Dipl.-Ing. Helge Drumm Dipl.-Ing. Marco Albrecht
Technische Realisierung: (Online-Ausgabe)	Universitätsbibliothek Ilmenau <a href="#">ilmedia</a> Postfach 10 05 65 98684 Ilmenau
Verlag:	 Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V. Werner-von-Siemens-Str. 16 98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2005

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

ISBN (Druckausgabe):	3-932633-98-9	(978-3-932633-98-0)
ISBN (CD-Rom-Ausgabe):	3-932633-99-7	(978-3-932633-99-7)

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

A. Halmai / A. Lukács

## **Drehmomentbildung in einem Unwuchtmotor**

### **Einleitung**

Im Maschinenbau heutzutage wird der Trend zur Mechatronik immer stärker. Durch immer moderner werdende Bauelemente der Mechatronik können Systeme mit erstaunlichen Integrationsdichten entwickelt werden. Eine Neuentwicklung ist ohne Aktortechnik oder Mikroelektronik kaum noch denkbar. Einen Grundstein für die Entwicklung mechatronischer Aktoren bilden die Kleinstmotoren. An der Technischen Universität Budapest, am Lehrstuhl für Mechatronik, Optik, und Gerätetechnik beschäftigen wir uns seit längerer Zeit hindurch mit der Entwicklung der Konstruktion der Gleichstrom-Kleinstmotoren. Im Rahmen unserer Forschung haben wir viele Informationen über die Lebensdauer, die Zuverlässigkeit, den Kommutationsprozess und die Momentbildung des Motors gesammelt. Wir haben die Absicht, die bisher gesammelten Erfahrungen, für die in einem Handy als Vibrafunktion angewandten Unwuchtmotoren (Abb. 2) zu verwenden. Unser Ziel ist die theoretische Untersuchung durch Modellbildung solcher Motoren mit Hilfe zeitgemässer FEM Programmen und Methoden, da die extrem kleinen Dimensionen - Durchmesser des Motors 4[mm] - viele technischen Schwierigkeiten verursachen und erschweren die verschiedenen Messungen.

### **Unwuchtmotoren für Handys**

Für Handys werden Motoren mit geringer elektrischer und mechanischer Zeitkonstante verlangt. Dafür steht die folgende Ausführung zur Verfügung: der Glockenläufermotor (DC) mit eisenlosem Läufer. Bei dieser Motorkonstruktion ist die Läuferwicklung in Kunststoff gebettet und bildet eine Glocke. Die Wicklung ist Schrägwicklung, so die Leiter liegen schräg und überkreuzen sich. Die Wicklung besteht aus drei Spulen, die sich Deltaschaltung verketteten. Die Wicklung dreht sich um einen zweipoligen, am Gehäuse befestigten Seltenerd-Magneten (Diametral-Magnetisierung). Das Gehäuse dient als magnetischer Rückschluss. Kommutator und Bürsten bestehen häufig aus Edelmetallen, um den Übergangswiderstand möglichst niedrig zu halten. Die Abbildung (Abb. 1) zeigt die untersuchten Motoren.



Abb. 1: Unwuchtmotoren für Handys



Abb. 2: Der untersuchte Unwuchtmotor

### Die Bestimmung des Drehmoments durch Messung

Oft hat man in der Technik die Aufgabe, verschiedene mechanische Grössen zu ermitteln, wie Kraft oder Drehmoment. Bei den Gleichstrom - Kleinstmotoren spielt das Drehmoment – besonders bei den industriellen Anwendungen - eine wichtige Rolle. Meist müsste es mechanisch oder durch Erzeugung von Gegenmoment mittels Magnetfeld und Wirbelstrom - Effekt gemessen werden. So müssen z.B. für ein einfaches Messsystem, bestehend aus zwei Kraftmessuhren, beide mit einem Seil zueinander, durch die Welle des Motors positioniert und in einem geeigneten Gehäuse fixiert werden. Genau in diesem Bereich der Aufbau besteht jedoch noch ein grösser Entwicklungsbedarf. Mit Hilfe des Induktionsgesetzes kann das Drehmoment auch bestimmt werden.

Ein linienförmiger Leiter möge eine Fläche umschliessen. Erfolgt eine zeitliche Änderung des die Fläche durchsetzenden magnetischen Flusses  $\Phi(t)$ , so wird in der Leiterschleife die Spannung  $U_i$  induziert. Umschliessen  $N$  Leiter die Fläche, so ergibt sich die induzierte Spannung  $U_i$  aus der Summe der in den  $N$  Leiterschleifen induzierten Teilspannungen:

$$U_i = N \frac{d\Phi}{dt}. \quad (1)$$

Bei allgemeiner Betrachtung ist der magnetische Fluss  $\Phi$  eine Funktion von Zeit, Strom und Ort. Damit folgt für die in einer Leiterschleife induzierte Spannung:

$$U_i = \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{\partial \Phi}{\partial i} \frac{di}{dt} + \frac{\partial \Phi}{\partial x} \frac{dx}{dt}. \quad (2)$$

Wichtig für das Verhalten des Motors ist, dass nach dem Induktionsgesetz in der im Magnetfeld bewegten Leiterschleife eine Bewegungsspannung (Ort)  $U_i$  induziert wird, deren Richtung zur Ankerspannung entgegengesetzt ist. Der dadurch verursachte Stromfluss erzeugt die sogenannte elektromotorische Kraft, die der Antrieb gegebenen Kraft entgegengerichtet ist. Der Begriff der elektromotorischen Kraft kann auch induzierte Spannung genannt werden,

$$U_i = -k_i \Omega. \quad (3)$$

wobei  $k$  eine Maschinenkonstante und  $\Omega$  die Drehzahl ist. Wird der Anker vom Strom  $I$  durchflossen, so entwickelt er unter dem Einfluss des magnetischen Flusses ein Drehmoment:

$$M = k_M I. \quad (4)$$

Es kann nachgewiesen werden, dass die beiden Konstante  $k_i$  und  $k_M$  identisch sind:

$$k_i = k_M = k. \quad (6)$$

Diese wichtige Maschinenkonstante  $k$ , in der vom Anwender nicht beeinflussbare Motordaten zusammengefasst sind, lässt sich leicht experimental im Leerlaufversuch nach (3) bestimmen. Zur Untersuchung der Maschinenkonstante haben wir ein Messsystem (Abb. 3) aufgebaut. Der Antrieb kombiniert zwei Motoren. Sie werden in einer Spannzange eingespannt. Der Motor mit der Gummiummantelung (Abtriebsmotor) wird zusätzlich mit einem Kunststoffgehäuse gegen Umdrehung gesichert. Der Motor ohne Ummantelung (Antriebsmotor) wird in wenig elastischer Metallplatte eingebettet. Wir hatten die Absicht, die Motorkonstante eines Glockenläufermotors zu bestimmen.

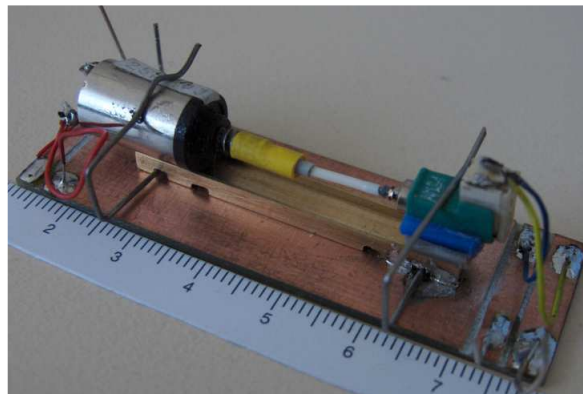


Abb. 3: Das Messsystem

Mit Hilfe dieser Anordnung konnte die induzierte Spannung leicht beobachtet und registriert werden. Die folgenden Oszilloskopsaufnahmen (Abb. 4, Abb. 5) zeigen einige Ergebnisse der bisher durchgeführten experimentellen Untersuchungen. Der Mittelwert der induzierten Spannung (Abb. 4) erreicht den Wert 334[mV]. Die Periodenzeit des Schwingenkreises (Abb. 5) beträgt 13,6[s], diese entspricht einer Frequenz von 73,53[Hz]=4411.8[1/min]. Die Maschinenkonstante  $k$  lässt sich bestimmen:

$$k = \frac{U_i}{\Omega} = \frac{0.334[V]}{461.95[rad/s]} = 0.000723[Vs]. \quad (7)$$

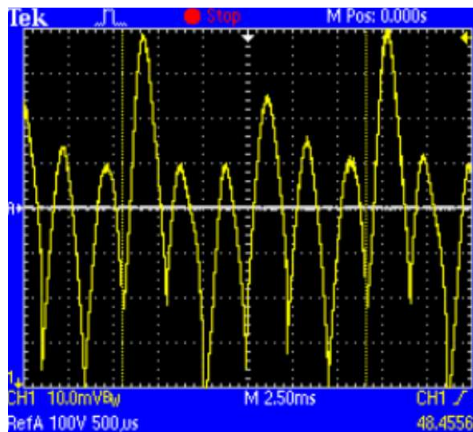


Abb. 4: Induzierte Spannung

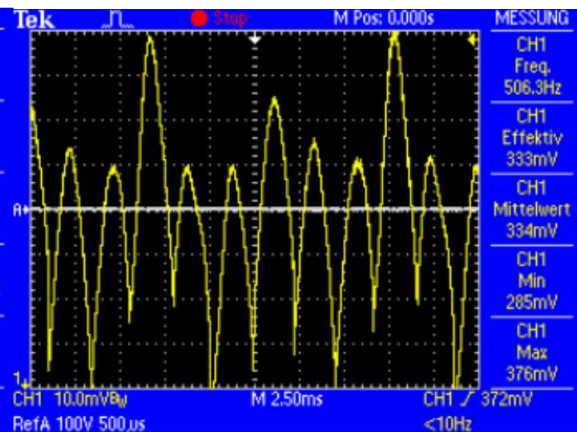


Abb. 5: Induzierte Spannung

### FEM Simulation der Drehmomentbildung

Für die Ermittlung der extrem kleiner Momente, keine direkten, oder nur bedingt anwendbaren physikalischen Beziehungen gibt. Man behilft sich im allgemein dadurch, dass man die erwünschten Parametern zuerst mit Hilfe eines FEM (z.B. Quickfield, Maxwell) Programms analysiert. Beide sind eine Programmierungsumgebung in den modernen Programmiersprachen. Der entscheidende Unterschied zwischen Quickfield und konventionellen Programmiersprachen ist die Art der Programmierung. Konventionelle Programmiersprachen sind textorientiert. Quickfield ist eine graphische Programmiersprache (Abb. 7).

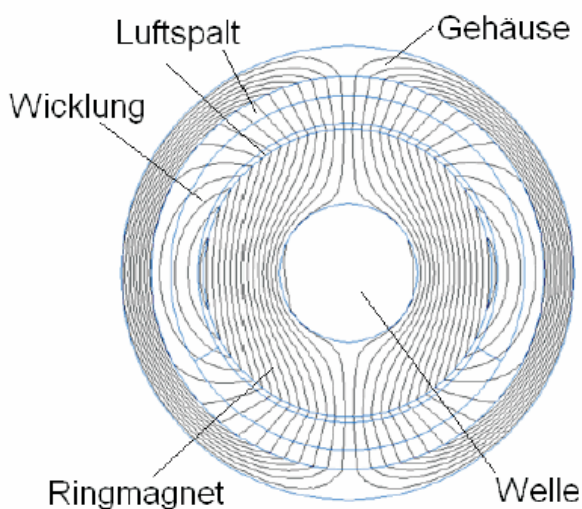


Abb. 6: Magnetischer Kreis des Motors

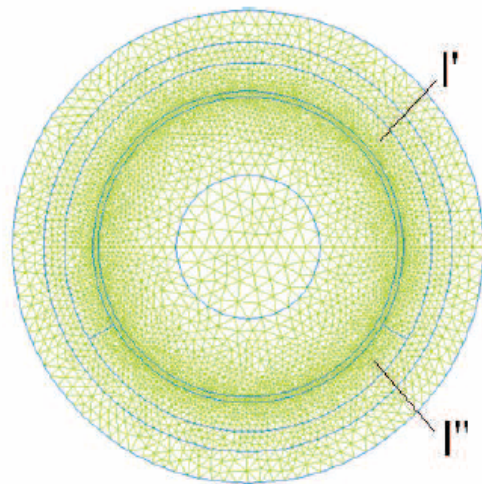


Abb.7: Netzgenerierung bei Quickfield

Die Technik der numerischen Simulation bezieht sich natürlich auf die mathematischen Modelle realer Systeme, die man in Modellbildungsverfahren ermittelt hat. Hat man als mathematisches Modell eine lineare Differentialgleichung gefunden, so ist die geschlossene



Lösung mit konventionellen Methoden ohne Rechneinsatz möglich. Ist das Modell jedoch nichtlinear, so ist eine Lösung der Differentialgleichung in der Regel nur noch durch numerische Näherungsverfahren möglich.

Ein Gleichstrom-Kleinstmotor ist auch ein nichtlineares System. Wegen der Diametral - Magnetisierung kann es nicht linear betrachtet werden. Aus elektrischer Sicht zeichnet sich in jedem einzelnen Luftspaltschnitt bedeutende Induktionsverformungen (Abb. 8, Abb. 9) aus. Diese Eigenschaft lassen sich analytisch nicht beschreiben. Wenn die Induktion eine Funktion von Ort ist daraus folgt, dass wir das Drehmoment exakt nicht aufschreiben können. Die Finite Element Methode ist ein bewährtes Werkzeug zur Analyse dieses nichtlinearen Problems.

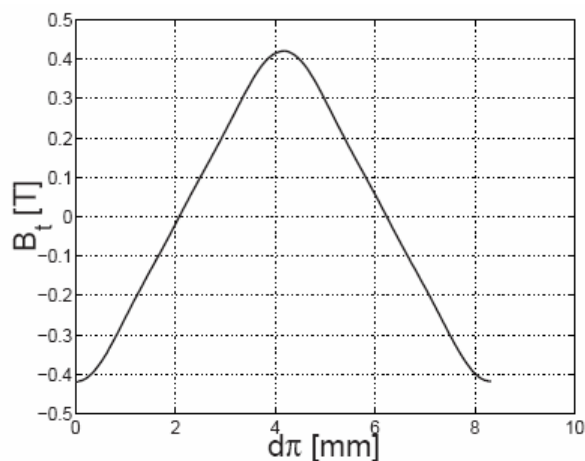


Abb. 8: Die tangenzielle Induktionsverteilung

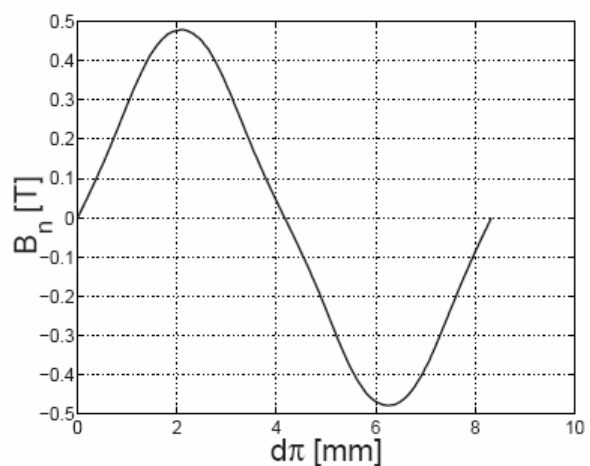


Abb. 9: Die normale Induktionsverteilung

### Schlussfolgerungen

Wir präsentierten das Simulationsmodell des Magnetkreises des Motors. Wir führten die Analyse der Momentbildung sowohl in praktischer Weise als auch mit Hilfe eines FEM Programms durch. Hier machen wir die Ergebnisse bekannt und sie werden miteinander verglichen. Unser Ziel war das Drehmoment eines Glockenläufermotors zu ermitteln.

U [V]	I [A]	M <sub>Messung=kl</sub> [mNmm]	M <sub>FEM</sub> [mNmm]	Fehler [%]
1	0.014	10.122	9.678	-4.4
2	0.029	21.184	20.143	-4.9
3	0.046	33.403	31.772	-4.8
4	0.061	44.248	42.033	-5

### Literatur- bzw. Quellenhinweise:

- [1] H. D. Stölting, E. Kallenbach: Handbuch Elektrische Kleinantriebe, Carl Hanser Verlag München (2001)
- [2] W. Roddeck: Einführung in die Mechatronik, B. G. Teubner Stuttgart (1996)
- [3] H. Janocha: Aktoren, Springer Verlag Berlin (1992)

**Autorenangaben:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. A. Halmai

Dipl.-Ing. A. Lukács

Technische Universität Budapest, Egry J u. 1

H-1111 Budapest

Tel: +36 1 463 2602

Fax: +36 1 463 3787

E-mail: [halmai@mom.bme.hu](mailto:halmai@mom.bme.hu)

[lukacs@mom.bme.hu](mailto:lukacs@mom.bme.hu)